
БУДІВНИЦТВО ТА ЦИВІЛЬНА ІНЖЕНЕРІЯ

CONSTRUCTION AND CIVIL ENGINEERING

УДК 624. 151.6

DOI <https://doi.org/10.32851/tnv-tech.2022.6.10>

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ МІЦНОСТІ ТА ДЕФОРМАТИВНОСТІ РЕГУЛЬОВАНОЇ БАЛКИ ЧЕКАНОВИЧА

Чеканович М. Г. – кандидат технічних наук,
професор кафедри будівництва, архітектури та дизайну
Херсонського державного аграрно-економічного університету
ORCID ID: 0000-0002-9110-4109
Scopus-Author ID: 57192938389

Проаналізовані відомі у міжнародній будівельній практиці залізобетонні балки, що мають підсилення внутрішньою і зовнішньою арматурою. При цьому відзначається, що в разі зовнішнього підсилення в балках недостатньо ефективно використовується можливість перерозподілення зусиль задля підвищення їх міцності та жорсткості.

Розглянуто конструкцію залізобетонної балки підсиленої регульованою системою за патентом України №3112733 автора. Балка підсилюється зовнішньою поперечно – поздовжньою системою тяжів. Система регулює і раціонально перерозподіляє напруження і деформації в балці, які її зміцнюють.

Для оцінки ефективності роботи системи підсилення балки були виконані експериментальні лабораторні дослідження. Були виготовлені зазначені підсилені балки з регулюванням зусиль. Крім того для порівняння виготовлялися звичайні балки. Для контролю якості виготовлялися також контрольні супутні зразки бетону.

Зразки балки і зразки бетону були випробувані в будівельній лабораторії університету. За результатами випробувань навантаженням визначався напружений і деформований стан балок. Навантаження балок виконувалося традиційно в третинах прольоту двома зосередженими силами. Навантаження здійснювалося домкратом механічної дії для можливості фіксації деформованого стану.

За результатами випробувань були побудовані графіки залежності «згинаний момент-прогин» і «згинаний момент – деформації» верхньої і нижньої фібри дослідної балки. Визначено несучу здатність, міцність балок.

В результаті випробувань встановлено, що підсилені регульованою системою балки були міцнішими майже на 40% порівняно зі звичайними еталонними. Вони були більш жорсткі, мали менші прогини за однакового за величиною навантаження. Система підсилення ефективно перерозподіляла зусилля у балці.

Підсумовуючи дійшли висновку, що розглянута за патентом України регульована балка №3112733 може бути ефективною у будівництві як при новому будівництві, так і при підсиленні вже існуючих балок будівель та споруд.

Ключові слова: міцність, залізобетонна балка, підсилення, регулювання, бетон, прогин, деформації.

Chekanovych M. H. Experimental studies of the strength and deformability of the regulated Chekanovych beam

The study analyzes reinforced concrete beams known in international construction practice, strengthened with internal and external bars. At the same time, it is noted that in the case of external bars in the beams, the ability to redistribute forces to increase their strength and stiffness is not used effectively enough.

The structure of a reinforced concrete beam reinforced with an adjustable system according to the author's Ukrainian patent No. 3112733 was considered. The beam is strengthened by an external transverse-longitudinal system of ties. The system regulates and rationally redistributes stresses and deformations in the beam that strengthen it.

To evaluate the effectiveness of the beam reinforcement system, experimental laboratory studies were performed. The specified reinforced beams with force adjustment were manufactured. In addition, conventional beams were made for comparison. For quality control, control concrete samples were also produced.

Beam samples and concrete samples were tested in the construction laboratory of the university. According to the results of load tests, the stressed and deformed states of the beams were determined. Beam loading was traditionally carried out in the thirds of the span by two concentrated forces. The load was done with a mechanical jack for the possibility of fixing the deformed state.

Based on the results of the tests, graphs of the dependence "bending moment – deflection" and "bending moment – deformation" of the upper and lower fiber of the experimental beam were constructed. The bearing capacity and strength of the beams were determined.

As a result of the tests, it was found that the beams strengthened by the regulated system were stronger by almost 40% compared to the conventional reference ones. They were stiffer, had smaller deflections under the same load. The reinforcement system effectively redistributed the forces in the beam.

Summarizing, we came to the conclusion that the regulated beam according to Ukrainian patent No. 3112733 can be effective in construction both for new construction and for strengthening existing beams of buildings and structures.

Key words: *strength, reinforced concrete beam, reinforcement, regulation, concrete, deflection, deformations.*

Вступ. Балкові конструкції відносяться до масових у застосуванні в будівництві. Їх удосконалення може суттєво вплинути на результати будівництва, як в мирний час, так і повоєнний.

Регульовані та саморегульовані конструкції представляються перспективними у найближчому майбутньому. Винайдення нових систем підсилення це один із шляхів прогресу у будівництві, а експериментальне дослідження їх переваг відкриває шлях до широкого впровадження їх у практику [1–3].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Відомі залізобетонні балки поліпшені попереднім напруженням арматури розташованої в тілі бетону [1–4] та зовні його [5; 6] задля більшої їх жорсткості та тріщиностійкості. В таких балках важко регулювати, перерозподіляти зусилля. Розроблені системи зовнішнього підсилення, що дозволяють у деякій мірі регулювати ці зусилля [7]. В них можна досягти деякого збільшення міцності конструкції [8].

Недоліками відомих балок є неможливість за допомогою натяжного елемента сприймати максимальні переміщення прогину балки в одному місці і передавати максимальні або задані величини реакції сил посилення в інших заданих місцях на балці за умови створення оптимального режиму підсилення балки, що призводить до нераціонального розподілу напружень системою посилення, невисокої міцності і значної деформативності. Розроблена нова конструкція регульованої балки [9], що в значній мірі усуває ці недоліки, але це потребує експериментальної перевірки, підтвердження, яке раніше не виконувалося.

Постановка проблеми. Оскільки відомі експериментальні дослідження міцності та деформативності залізобетонних балок не мають прямого відношення до нової регульованої балки запропонованої автором, то оцінити їх

ефективність, доцільність для застосування у виробництві і обґрунтувати майже неможливо. У зв'язку з цим експериментальні дослідження міцності та деформативності зазначеної вище регульованої балки представляється перспективною у галузі будівництва для можливості широкого впровадження їх у практику [5–9].

Метою дослідження є визначення міцності та деформативності залізобетонних балок, підсилених поздовжньо-поперечною зовнішньою сталеву арматурою, визначити вплив зовнішньої системи підсилення на несучу здатність конструкції, порівняти результати досліджень зі звичайними залізобетонними балками без зовнішнього підсилення.

Виклад основного матеріалу. Запропонована автором саморегульована балка включає залізобетонне тіло з кладними пластинами на поверхні і зтяжку, яка взаємодіє з поперечною зовнішньою похилою арматурою, закріпленою до балки, а в середній частині з натяжним елементом, що опирається на нижню грань балки. Детально конструкція балки представлена в патенті на винахід автора [6]. Для експериментальної оцінки ефективність системи підсилення були виготовлені зразки балок та супутні зразки бетону.

Для приготування бетонної суміші були використані: портландцемент зі шлаком Одеського цементного заводу ПЦ П Б – Ш – 400. (клінкер 65–79%, гранульований доменний шлак 21–35%, регулятор схоплювання – сульфат кальцію); щебінь гранітний фракції до 10 мм; пісок кварцовий з модулем крупності $M_{кр} = 3,4$; вода питна. За ступенем рухомості бетонна суміш з осадкою конуса 4 см відповідала – П-4.

Склад бетонної суміші, прийнятий для її приготування, наведений у таблиці 1.

Таблиця 1

Склад бетонної суміші, прийнятий для виготовлення зразків

Витрати матеріалів, кг/м ³ бетону			В/Ц
цемент, кг	пісок, кг	щебінь, кг	
430	650	1105	0,5

Балки бетонували двома серіями, залежно від конструкції. Серія I – БО-II-2 – звичайна залізобетонна балка довжиною 2100 мм з розмірами поперечного перерізу 200×100 мм без підсилення. Процент армування бетону складав -1,95%. Серія II – БПС-III-3 – залізобетонна балка таких же розмірів підсилена зовнішньою системою [9]. Процент армування бетону той же.

Форми для зразків (рис. 1) склалися зі сталевого піддону, двох повздовжніх та двох торцевих бортів. Між піддоном та бортами вкладали ущільнювач. Випробування стандартних зразків бетону виконувалося за допомогою пресу гідравлічної дії П 125/62 (рис. 2).

Таблиця 2

Визначення міцності бетону руйнуючим методом

№ з/п	Розмір бетонного зразка, см	Маса зразка, кг	Руйнуюче навантаження, кгс	Міцність бетону на стиск $f_{c.cube}$, МПа
1	10x9,9x10	2,392	41520	39,84
2	9,9x10x10	2,371	33400	37,81
3	10x10x10	2,383	41100	39,04



Рис. 1. Формування дослідних балок БО-II-2 і БПС-III-3 та супутніх зразків



Рис. 2. Загальний вигляд випробування куба бетону

Результати визначення кубкової міцності бетону балок на стиск наведено у таблиці 2.

Схема випробування та загальний вигляд випробування дослідних серій балок показано на рисунках 3–6.

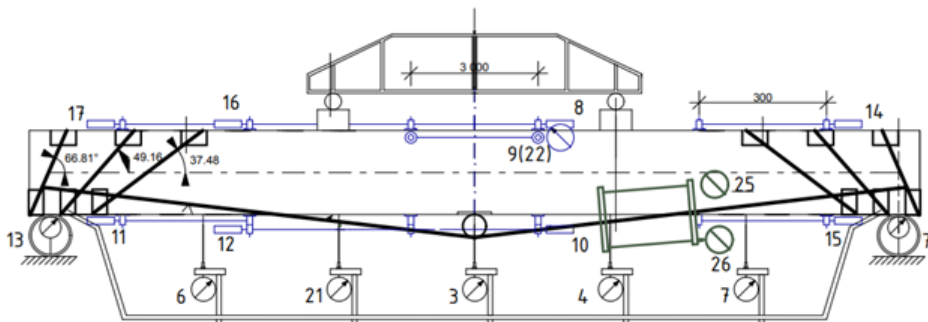


Рис. 3. Схема навантаження балки БПС-III-3



Рис. 4. Загальний вигляд випробування балки БПС-III-3



Рис. 5. Характер руйнування залізобетонної балки БПС-III-3



Рис. 6. Загальний вигляд випробування звичайної балки БО-II-2

Відповідно до традиційної методики проведення експериментальних випробувань балок були визначені деформації бетону та прогини балок. Під дією зосередженого навантаження визначалася інтенсивність росту прогинів, а також розподіл деформацій по висоті балки.

Після обробки результатів, отриманих за допомогою встановлених індикаторів годинникового типу, були побудовані графіки залежності деформацій від величини згинального моменту для звичайної не підсиленої балки БО-II-2 (рис. 7).

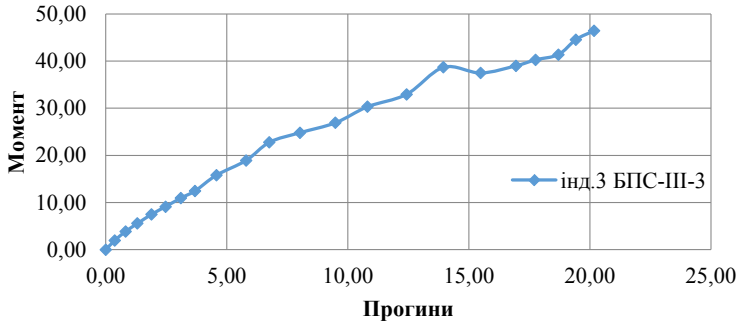


Рис. 7. Графіки залежності фібрових деформацій від згинального моменту зразків звичайної балки БО-II-2

При згинальному моменті $M = 13,1$ кН·м по центру балки з'явилася волосяна тріщина з шириною розкриття $0,015$ мм. При значенні згинального моменту $M = 25,47$ кН·м з'явилися похилі тріщини у опорних зонах балки. При величині моменту $M = 32,05$ кН·м відбулося її руйнування.

Для підсиленої балки серії БПС-III-3 на рисунку 8 наведено графіки залежності відносних поздовжніх деформацій від величини згинального моменту.

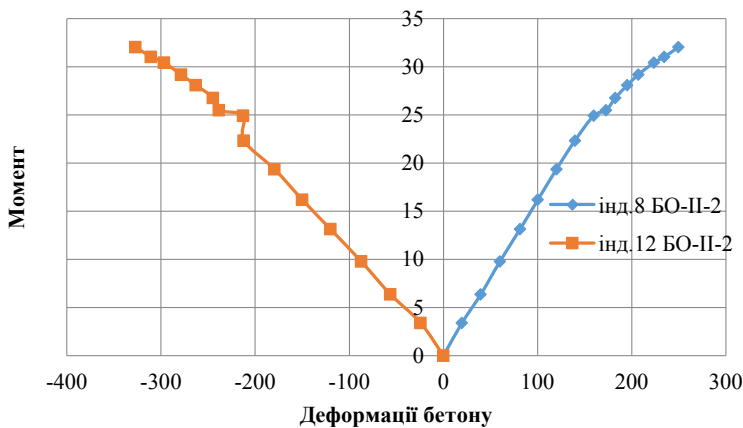


Рис. 8. Графіки залежності «згинальний момент – відносні фіброві деформації» для підсиленої балки серії БПС-III-3

Для балки БПС-III-при згинальному моменті $M = 18,95$ кН·м з'явилася волосяна тріщина по центру балки. Розшарування бетону у верхній стиснутій зоні відбулося при згинальному моменті $M = 46,42$ кН·м, що відповідало вичерпанню несучої здатності підсиленої балки.

При проведенні випробувань звичайної та підсиленої балок вимірювали прогини експериментальних зразків за допомогою індикаторів годинникового типу,

встановлених на спеціальній металевій рамці. Балки навантажували симетрично. На рисунку 9 наведено діаграму залежності «прогин – згинальний момент» для звичайної балки серії БО-ІІ-2. На рисунку 10 наведені діаграми залежності «прогин – згинальний момент» для підсиленої балки БПС-ІІІ-3. В таблиці 3 наведено експериментальні значення максимальних моментів, прогинів та відносних деформацій стиску.

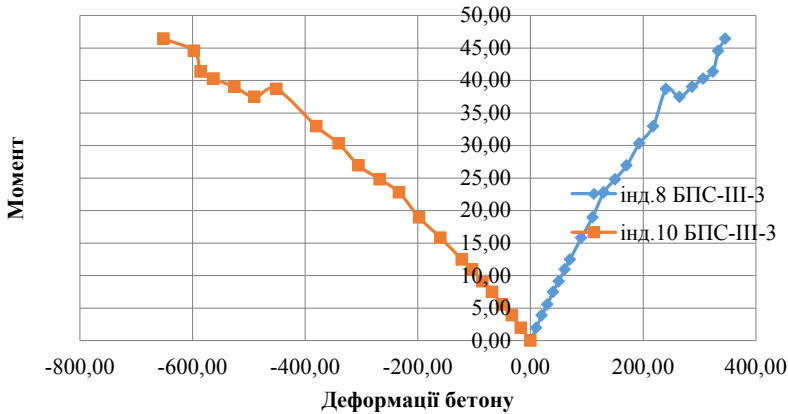


Рис. 9. Діаграма «прогин – згинальний момент» для звичайної балки БО-ІІ-2

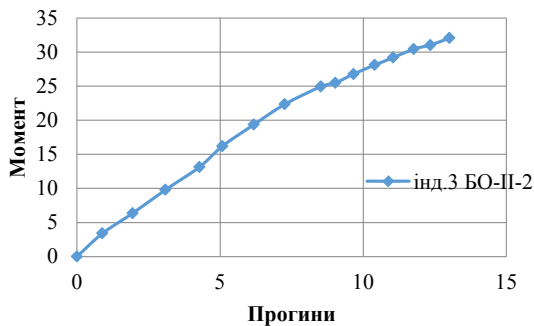


Рис. 10. Діаграма «прогин – момент» для підсиленої балки БПС-ІІІ-3

Таблиця 3

Результати випробування балок

Найменування	M_{\max} , кН·м	W_{\max} , мм	(при $M=32$ кН·м) $W_{\text{фікс}}$, мм	$\varepsilon_{cu} \times 10^{-5}$
Балка БО-ІІ-2	32,05	13,0	13,0	245
Балка БПС-ІІІ-3	46,42	20,2	12,4	348

Висновки і пропозиції. У роботі досліджена саморегульована надійна конструкція балки, що ефективно підсилюються поздовжньо-поперечною зовнішньою системою тяжів при дії на неї зовнішнього навантаження, шляхом раціонального перерозподілу напружень між стисненою та розтягнутою зонами за допомогою легких і гнучких елементів, що працюють на розтяг.

За результатами випробування встановлено, що збільшення несучої здатності, міцності підсилених балок склало 44%, порівняно зі звичайною балкою. Деформативність підсилених балок при цьому була меншою порівняно з еталонною балкою.

Підсилення балок розглянутою поздовжньо-поперечною зовнішньою системою тяжів є ефективним і така конструкція може рекомендуватися для широкого застосування при новому будівництві та при підсиленні вже існуючих балок будівель та споруд.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Leonhard F. "Spannbeton" für die Praxis. Wyd.3. Ernst u. Sohn, Berlin-München-Dusseldorf, 1973, 246 p.
2. Бабич Є.М., Бабич В.Є. Розрахунок і конструювання залізобетонних балок: навчальний посібник. 2-ге видання, перероблене і доповнене. Рівне : НУВГП, 2017. С. 19–62.
3. Eurocode 2: Design of Concrete Structures. Part 1-1: General rules and rules for building: EN 1992-1. Brussels : CEN, 2004. P. 30–82.
4. Чеканович М. Г. Метод попереднього напруження залізобетонних конструкцій, що підвищує їх міцність. *Таврійський науковий вісник. Серія: Технічні науки. Херсон : Видавничий дім «Гельветика», 2022. Вип. 2. С. 57–62.*
5. Minelli F., Plizzari G., Cairns J. Flexure and shear behavior class of RC beams strengthened by external reinforcement. Cape Town : Concrete repair, rehabilitation and retrofittingii, 2009. P. 377–378.
6. Онуфриев Н.М. Усиление железобетонных конструкций промышленных зданий и сооружений. 1965. С. 122–342.
7. High performance concrete structures / M. Chekanovych // Life cycle assessment, behavior and properties of concrete and concrete structures. Proceeding of International Conference. 2004, Brno, Czech Republic, P. 130–135.
8. Розрахунок будівельних конструкцій : навчальний посібник / М.Г. Чеканович, О.Є. Янін. Видання 2-ге, доповнене і перероблене. Херсон : ОЛДІ-ПЛЮС, 2021. С. 60–75.
9. Патент на винахід № 112733 України, МКИ Е 04 G 3/20. Регульована балка Чекановича / М. Г. Чеканович. № а201511202; заявл. 13.11.2015; опубл.10.02.2016, Бюл. № 3. 4 с.

REFERENCES:

1. Leonhard F. (1973) "Spannbeton" für die Praxis. Wyd.3. Ernst u. Sohn, Berlin-München-Dusseldorf, 246 p.
2. Babych Ye. M., Babych V. Ye. (2017) Rozrakhunok i konstruiuvannya zalizobetonnykh balok: navchalnyi posibnyk. 2-he vydannia, pereroblene i dopovnene. Rivne: NUVHP. S. 19–62.
3. Eurocode 2: Design of Concrete Structures. Part 1-1: General rules and rules for building: EN 1992-1. Brussels: CEN, 2004. P. 30–82.
4. Chekanovych M. H. (2022) Metod poperednoho napruzhennia zalizobetonnykh konstruktсии, shcho pidvyshchuie yikh mitsnist. Tavriiskiyi naukovyi visnyk. Seriia: Tekhnichni nauky. Kherson : Vydavnychiy dim «Helvetyka», Vyp. 2. S. 57–62.
5. Minelli F., Plizzari G., Cairns J. (2009) Flexure and shear behavior class of RC beams strengthened by external reinforcement. Cape Town : Concrete repair, rehabilitation and retrofittingii. P. 377–378.
6. Onufryev N.M. (1965) Usylenye zhelezobetonnykh konstruktсийi promyshlennykh zdaniy i sooruzheniy. L., S. 122–342.
7. High performance concrete structures / M. Chekanovych // Life cycle assessment, behavior and properties of concrete and concrete structures. Proceeding of International Conference. 2004, Brno, Czech Republic, P. 130–135.

8. Rozrakhunok budivelnikh konstrukttsii: navchalnyi posibnyk / M.H. Chekanovych, O.Ie. Yanin. Vydannia 2-he, dopovnene i pereroblene. Kherson: OLDI-PLIuS, 2021. S. 60–75.

9. Patent na vynakhid № 112733 Ukrainy, MKY E 04 G 3/20. Rehulovana balka Chekanovycha / M. H. Chekanovych. № a201511202; zaiavl. 13.11.2015; opubl.10.02.2016, Biul. № 3. 4s.